

(19)



Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

EP 1 034 029 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des
Hinweises auf die Patenterteilung:
12.03.2003 Patentblatt 2003/11

(51) Int Cl.⁷: **B01F 5/04**

(21) Anmeldenummer: **99930911.5**

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/AT99/00173

(22) Anmeldetag: **07.07.1999**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 00/002653 (20.01.2000 Gazette 2000/03)

(54) VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR ERHÖHUNG DES DRUCKES BEZIEHUNGSWEISE STEIGERUNG DER ENTHALPIE EINES MIT ÜBERSCHALL STRÖMENDEN FLUIDS

METHOD AND DEVICE FOR INCREASING THE PRESSURE OR ENTHALPY OF A FLUID
FLOWING AT SUPERSONIC SPEED

PROCEDE ET DISPOSITIF POUR ACCROITRE LA PRESSION OU L'ENTHALPIE D'UN FLUIDE
S'ECOULANT A UNE VITESSE SUPERSONIQUE

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU
MC NL PT SE**

(30) Priorität: **08.07.1998 AT 118698**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
13.09.2000 Patentblatt 2000/37

(73) Patentinhaber: **Novafluid - Innovative Strömungs-
& Wärmeübertragungs-Technologie GmbH
2571 Altenmarkt (AT)**

(72) Erfinder: **MAKLAD, Jaber
A-1170 Wien (AT)**

(74) Vertreter: **Itze, Peter, Dipl.-Ing. et al
Patentanwälte
Casati, Wilhelm, Dipl.-Ing.
Itze, Peter, Dipl.-Ing.
Amerlingstrasse 8
1061 Wien (AT)**

(56) Entgegenhaltungen:
**EP-A- 0 150 171 EP-A- 0 475 284
EP-A- 0 555 498 WO-A-93/16791
US-A- 5 338 113**

EP 1 034 029 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingereicht, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Erhöhung des Druckes bzw. Steigerung der Enthalpie eines mit Überschallgeschwindigkeit strömenden Fluids, wobei Dampf mit Flüssigkeit vermischt und dieses Gemisch auf Überschallgeschwindigkeit beschleunigt wird, wonach dann ein Kondensationsstoß ausgelöst wird.

[0002] Zunächst sei einmal auf die grundlegende Problematik der strömenden Mischungen von Zweiphasengemischen, z.B. Luft/Wasser oder Dampfflüssigkeit od.dgl., eingegangen.

[0003] In derartigen Mischungen kann die "Schallgeschwindigkeit" kleine Werte annehmen, wobei unter "Schallgeschwindigkeit" jene Größe zu verstehen ist, welche für die Bildung der Mach'schen Zahl ausschlaggebend ist (siehe VDI-Zeitung 99, 1957, Nr. 30, 21. Oktober, "Überschallströmungen von hoher Machzahl bei kleinen Strömungsgeschwindigkeiten" von Carl Pfleiderer, Seite 1535 und 1536; und "Grundlagen für Pumpen von "em. Prof.Dipl.-Ing. W. Pohlenz, VEB Verlag Technik, Berlin 1975, Seiten 49 und 41).

[0004] Auch Ostwatitsch weist darauf hin, daß in Schaumströmungen bei "Überschallgeschwindigkeiten" alle Erscheinungen auftreten, die aus einphasiger Überschallströmung bekannt sind (siehe "Gasdynamik", Dr. Klaus Ostwatitsch, Wien, Springer Verlag 1952, Seite 440). Die Analogie zwischen Zweiphasenströmung und einphasiger Strömung eines kompressiblen Fluids ist vollkommen. So benötigt man zur Beschleunigung einer Zweiphasenströmung von "Unterschall"- zu "Überschallgeschwindigkeit" ebenfalls eine konvergente-divergente Düse (Lavaldüse) bzw. ist der entgegengesetzte Vorgang nur mittels eines Verdichtungsstoßes bzw. einer Reihe von Verdichtungsstoßen möglich. Die Vorgänge im Verdichtungsstoß sind bei der Zweiphasenströmung ebenfalls äußerst komplex, wobei das Überraschende dabei ist, daß der Zusammenhang zwischen Stoßeintritts- und Stoßaustrittsgeschwindigkeit sowie Druckanstieg durch einen Wärmefluß vermittelt wird (siehe "Technische Fluidmechanik" von Herbert Sieglach, VDI Verlag 1982, Seiten 214 - 230, sowie W.Al-Bring, "Angewandte Strömungslehre", 4. Auflage, Verlag Theodor Steinkopff, Dresden 1970, Seiten 183 - 194). Durch das Maß der Wärmemenge, die im Stoß vom Unterschall zum Überschall fließt, ist die Stoßintensität bestimmt.

[0005] Weiters verhalten sich kompressible Zweiphasenströmungen so, daß sich die Zustandsgrößen - mit Ausnahme der Entropie, der Temperatur und der Ruhetemperatur - im Unter- und Überschallbereich entgegengesetzt verändern (siehe E.Truckenbrodt, "Fluidmechanik", Band 2, Springer Verlag 1980, Seite 68). Es bedeutet z.B. die Wärmezufuhr zu einer Überschallströmung eine Verzögerung, dagegen zu einer Unterschallströmung eine Beschleunigung.

[0006] Die Stärke des sogenannten Kondensationsstoßes hängt dabei von der kondensierenden Wasserdampfmenge ab (sieh Dr. Klaus Ostwatitsch: Gasdynamik; Springer Verlag 1952, Seite 57).

[0007] Der Kondensationsstoß entsteht bei der Strömung eines Fluids, das übersättigten Wasserdampf enthält, und ist das Ergebnis einer plötzlichen Kondensation des Dampfes, welche sehr schnell und in einer schmalen Zone erfolgt, die als "Kondensationsstoßfläche" bezeichnet wird. Die Stabilität des Kondensationsstoßes gegenüber kleinen Störungen in der zu ihrer Fläche senkrechten Richtung hängt vom thermodynamischen Zustand des Dampfes vor dem Stoß ab. Dieser muß gerade eben dem Beginn einer schnellen Kondensation des Dampfes entsprechen. Eine detaillierte Herleitung dieses Vorgangs findet sich bei L.D. Landau und E.M.Lifschitz: Hydrodynamik: Akademie-Verlag, Berlin 1966.

[0008] Der Mechanismus der Druckerhöhung liegt darin begründet, daß bei der Kondensation des Dampfes Vakuumräume entstehen, die vom mit Schallgeschwindigkeit hereinströmenden Fluid schlagartig aufgefüllt werden. Die so entstehende kinetische Energie wird in Druck umgesetzt.

[0009] Die Stärke der Druckerhöhung infolge der Kondensation hängt vom Temperaturunterschied zwischen Dampf und Flüssigkeit bzw. von der Flüssigkeitstemperatur bei der Vermischung mit dem Dampf und von der Lage des Verdichtungsstoßes ab.

[0010] Bei Versuchen mit Wasser und Wasserdampf wurde nach der vollständigen Kondensation des Dampfes über dem Verdichtungsstoß ein Druck gemessen, der groß genug ist, um die Vorrichtung als Förderpumpe einzusetzen zu können.

[0011] Bei einer bekannten Ausbildung der eingangs genannten Art, wie sie beispielsweise aus der EP 0 555 498A1 hervorgeht, wird vor der Plazierung des Kondensationsstoßes Flüssigkeit abgezogen, um sicherzustellen, daß der Kondensationsstoß in dem dafür vorgesehenen Bereich stattfindet. Weiters erreicht man mit der bekannten Ausbildung, daß sich die im Diffusor weiterströmende Flüssigkeit nicht so stark erwärmt.

[0012] Beim Erfindungsgegenstand wird nun vor Auslösung des Kondensationsstoßes, zusätzlich Flüssigkeit in das mit Überschallgeschwindigkeit strömende Gemisch eingebracht. Dadurch wird erreicht, daß sich der im Kondensationsstoß auftretende Druck weiter erhöht, da durch den höheren Flüssigkeitsgehalt, eine höhere Strömungsenergie im Dampf/Flüssigkeitsgemisch enthalten ist.

[0013] Vorteilhafterweise kann die Zufuhr der zusätzlichen Flüssigkeit durch den durch das strömende Gemisch erzeugten Unterdruck bewirkt werden, wodurch sich zusätzliche Mittel zum Fördern der zugesetzten Flüssigkeit erübrigen.

[0014] Bei einer vorteilhaften Vorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens, bei welcher eine

Dampfbeschleunigungsdüse, ein Zuführspalt für ein flüssiges Medium, eine konvergierende Mischdüse und ein Diffusor vorgesehen ist, wobei zwischen Mischdüse und Diffusor ein Parallelströmungsabschnitt angeordnet ist, in dem ein den Parallelströmungsabschnitt teilender Spalt angeordnet ist, beträgt die in Strömungsrichtung gemessene Länge des Spaltes zwischen dem 0,5 bis 0,9-fachen des Durchmessers des Parallelströmungsabschnittes. Durch diese Spaltgröße wird erreicht, daß eine ausreichende Menge an zusätzlicher Flüssigkeit selbsttätig eingesaugt wird, ohne die Strömung des Dampf/Flüssigkeitsgemisches zu beeinträchtigen.

[0015] In der Zeichnung ist ein Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Vorrichtung dargestellt.

[0016] Fig. 1 zeigt schematisch den Aufbau der erfindungsgemäßen Vorrichtung.

[0017] Fig. 2 und 3 sind Diagramme, in denen die Meßergebnisse, die mit der genannten Vorrichtung erzielt werden, graphisch wiedergegeben sind.

[0018] Mit 1 ist eine Laval Düse bezeichnet, deren konvergenter Teil 2 einen Öffnungswinkel α von etwa $25 - 60^\circ$ und deren divergenter Teil 3 einen Öffnungswinkel β von etwa $3 - 20^\circ$ aufweist. Dieser Laval Düse 1 ist eine Mischdüse 4 aus konvergenten und zylindrischen Bereichen nachgeschaltet, wobei der konvergente Bereich γ einen Winkel von etwa 15 bis 30° besitzt. Die Länge L1 des zylindrischen Bereiches beträgt etwa das 1 bis 3-fache seines Durchmessers. In diesen konvergenten Bereich ragt der divergierende Teil der Laval Düse 1 hinein, wobei zwischen dem Ende der Laval Düse und der Innenwandung der Mischdüse ein Spalt 5 freigelassen ist, über welchen die über die Leitung 6 zugeführte Flüssigkeit mit dem Dampf vermischt wird. An den konvergenten Teil 7 der Mischdüse 4 schließt, wie schon angeführt, ein Parallelströmungsteil 8 an, dem ein Parallelströmungsteil 9 eines Diffusors 10 nachgeschaltet ist. Die Länge L2 des Parallelströmungsteils 9 beträgt etwa das 1 bis 5-fache seines Innendurchmessers D2. Der Öffnungswinkel der divergierenden Bereiche des Diffusors 10 beträgt etwa $15 - 45^\circ$.

[0019] Zwischen dem Parallelströmungsteil 8 der Mischdüse 4 und dem Parallelströmungsteil 9 des Diffusors 10, welche Teile alle koaxial hintereinander angeordnet sind, ist ein Spalt 11 freigelassen, dessen Spaltbreite B etwa das 0,5-fache des Durchmessers D1 des Parallelströmungsteils 8 der Mischdüse 4 aufweist.

[0020] Der Spalt 11 ist mit einem Ringraum 12 verbunden, über welchen über eine Leitung 13 Sekundärflüssigkeit in das strömende Gas/Flüssigkeitsgemisch einbringbar ist.

[0021] Das Verfahren durchläuft dabei die folgenden Schritte:

1. Erzeugung eines Dampfflüssigkeitsgemisches, das sich mit Überschallgeschwindigkeit bewegt,
2. Erzeugung eines Gegendruckes, indem ein Verdichtungsstoß ausgelöst wird und der Dampfanteil des Gemisches vollständig kondensiert wird, wobei der Druck der Strömung schlagartig zunimmt,
3. um den Kondensationsvorgang zu beschleunigen und dadurch den Druck weiter zu vergrößern, wird eine Sekundärflüssigkeit niedriger Enthalpie in die Kondensationszone vor dem Verdichtungsschluß injiziert.

[0022] Diese Schritte werden bei der erfindungsgemäßen Vorrichtung dadurch ausgelöst, daß der Dampf die Laval Düse, die Mischdüse und den Diffusor durchläuft. Dabei wird der Dampf in der Laval Düse auf Überschallgeschwindigkeit beschleunigt, wobei im Überschallanteil der Düse der Dampf auf einen Druck entspannt wird, der kleiner ist als der atmosphärische Druck. Die über die Außenkontur der Laval Düse in die Mischdüse angesaugte Flüssigkeit vermischt sich mit dem Dampf und es entsteht ein homogenes Gemisch aus Dampf und Flüssigkeit, das eine viel kleinere Schallgeschwindigkeit hat als reine Flüssigkeit bzw. reiner Dampf (siehe "Führer durch die Strömungslehre", 8. Auflage, Friedrich Viehweg & Sohn 1984, Seite 390 - 395). Trotz der Bremswirkung durch das Ansaugen der Flüssigkeit verbleibt das Gemisch in Überschallgeschwindigkeit. Im Spalt zwischen Mischdüse und Diffusor entsteht infolge der Strömungsbeschleunigung ein Druck, der kleiner als der atmosphärische Druck ist. Am Ausgang des Diffusors wird über ein nicht dargestelltes Drosselventil ein Gegendruck erzeugt, welcher langsam gesteigert wird, bis ein senkrechter Verdichtungsstoß im Parallelströmungsteil 9 des Diffusors entsteht, in welchem der Dampf über den Verdichtungsstoß vollständig kondensiert. Das führt zu der erwünschten Druckerhöhung in der Strömung.

[0023] Über den Spalt 11 zwischen Mischdüse und Diffusor wird eine Sekundärströmung aus Flüssigkeit in die Kondensationszone vor dem Verdichtungsstoß eingeleitet, wodurch der Kondensationsvorgang weiter beschleunigt und der Druck erhöht wird. Mit dem Verdichtungsstoß wird der Kondensationsvorgang komplett abgeschlossen. Die Kondensation des Dampfes ist mit Wärmeenergie verbunden, wobei etwa 600 cal/g frei werden. Die Wärme wird von der aus dem Diffusor abströmenden Flüssigkeit aufgenommen.

[0024] Die Größenordnung des durch die zusätzlich zugeführte Flüssigkeit erzielbaren Druckanstieges wird anhand eines Beispiels in Tabelle 1 veranschaulicht.

Tabelle 1

Eingangsdaten									Ausgangsdaten	
Dampf			Hauptströmung Wasser			Sekundärströmung Wasser				
Druck	Temp.	Durchflußmenge	Druck	Temp.	Durchflußmenge	Temp.	Durchflußmenge $m_{sek.}/m_{Haupt}$	Druck	Tem	
[bar]	[°C]	[kg/h]	[bar]	[°C]	[l/h]	[°C]	[%]	[bar]	[°C]	
7	165	265	5	18	3.000	18	0	17	70	
7	165	265	5	18	3.000	18	8	18.5	66.5	
7	165	265	5	18	3.000	18	10	19	65.5	
7	165	265	5	18	3.000	18	12	20	65	
7	165	265	5	18	3.000	18	14	20.5	64	
7	165	265	5	18	3.000	18	16	21	63	
7.5	167	282	5	18	3.000	18	0	18	73	
7.5	167	282	5	18	3.000	18	8	19	69	
7.5	167	282	5	18	3.000	18	10	20	68	
7.5	167	282	5	18	3.000	18	12	21	67.5	
7.5	167	282	5	18	3.000	18	14	22	66.5	
7.5	167	282	5	18	3.000	18	16	22.5	66	
7.5	167	282	5	18	3.000	18	18	23	65	
8	170	287	5	18	3.000	18	0	19	74	
8	170	287	5	18	3.000	18	8	21.5	70	
8	170	287	5	18	3.000	18	10	22	69	
8	170	287	5	18	3.000	18	12	23	68.5	
8	170	287	5	18	3.000	18	14	24	67.5	
8	170	287	5	18	3.000	18	16	24.5	67	
8	170	287	5	18	3.000	18	18	25	66	

Diese Werte wurden im Versuch mit Wasser und Dampf im Kraftwerk Simmering

gemessen

[0025] Die Daten der Tabelle 1 sind in dem als Fig. 2 angeschlossenen Diagramm graphisch wiedergegeben. Aus diesem Diagramm ist deutlich die Drucksteigerung infolge zugesetzter Sekundärflüssigkeit erkennbar. Bei der Verwendung von 7 bar, 7,5 bar, bzw. 8 bar Dampfdruck steigt der Druck in der strömenden Flüssigkeit von 17 bar bis zu 21 bar bei 16%igem, von 18 bis 23 bar bei 18%igem und von 19 bis 25 bar bei 18%igem Zusatz von Sekundärfluid.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Erhöhung des Druckes bzw. Steigerung der Enthalpie eines mit Überschall strömenden Fluids, wobei Dampf mit Flüssigkeit vermischt und dieses Gemisch auf Überschallgeschwindigkeit beschleunigt wird, wonach dann ein Kondensationsstoß ausgelöst wird, dadurch gekennzeichnet, daß vor Auslösung des Kondensationsstoßes zusätzlich Flüssigkeit in das mit Überschallgeschwindigkeit strömende Gemisch eingebracht wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Zufuhr der zusätzlichen Flüssigkeit durch den durch das strömende Gemisch erzeugten Unterdruck bewirkt wird.
- 5 3. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1 oder 2, bei welcher eine Dampfbeschleunigungs-düse, ein Zufuhrspalt für ein flüssiges Medium, eine konvergierende Mischdüse und ein Diffusor vorgesehen ist, wobei zwischen Mischdüse und Diffusor ein Parallelströmungsabschnitt angeordnet ist, in dem ein den Parallelströmungsabschnitt teilender Spalt angeordnet ist, **dadurch gekennzeichnet, daß** die in Strömungsrichtung gemessene Länge (B) des Spaltes zwischen dem 0,5 und 0,9-fachen des Durchmessers (D1) des Parallelströmungsabschnittes (8) beträgt.

10

Claims

- 15 1. A method for elevating pressure or increasing enthalpy of a fluid flowing at supersonic speed, wherein steam is mixed with the fluid and said mixture is accelerated to supersonic speed, whereupon a condensation shock is triggered, **characterized in that** before triggering of the condensation shock, additional fluid is introduced into the mixture flowing at supersonic speed.
- 20 2. A method according to Claim 1, wherein the introduction of the additional fluid is effected by the vacuum produced by the flowing mixture.
- 25 3. A device for carrying out the method according to Claim 1 or 2, wherein a steam accelerating nozzle, a feeder gap for fluid medium, a convergence mixing nozzle and a diffuser is provided, wherein a concurrent flow segment is arranged between the mixing nozzle and the diffuser, in which a gap is disposed dividing the concurrent flow segment, **characterized in that** the length (B) of the gap measured in the direction of flow is between 0.5 and 0.9 times the diameter (D1) of the parallel flow segment (8).

Revendications

- 30 1. Procédé pour l'élévation de la pression et/ou l'augmentation de l'enthalpie d'un fluide s'écoulant à une vitesse supersonique en mélangeant la vapeur et le liquide et en faisant subir au mélange ainsi obtenu des accélérations atteignant la vitesse supersonique à la suite de quoi est déclenché un choc de condensation **caractérisé en ce, que** avant le déclenchement du choc de condensation un supplément de liquide est ajouté dans le mélange s'écoulant à vitesse supersonique.
- 35 2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce, que** l'arrivée du supplément de liquide est obtenue grâce à la dépression produite par le mélange s'écoulant.
- 40 3. Dispositif pour la réalisation du procédé selon les revendications 1 ou 2, pourvu d'une tuyère d'accélération de vapeur, d'une fente permettant l'arrivée d'un composant liquide, d'une tuyère mélangeuse convergente ainsi que d'un diffuseur, et comportant l'aménagement entre la tuyère mélangeuse et le diffuseur d'un segment d'écoulement en parallèle dans lequel a été pratiquée une fente de division d'écoulement **caractérisée en ce que** sa longueur (B) mesurée dans le sens de l'écoulement s'établit dans une fourchette comprise entre 0,5 et 0,9 fois le diamètre (D1) du segment d'écoulement en parallèle (8).

50

55

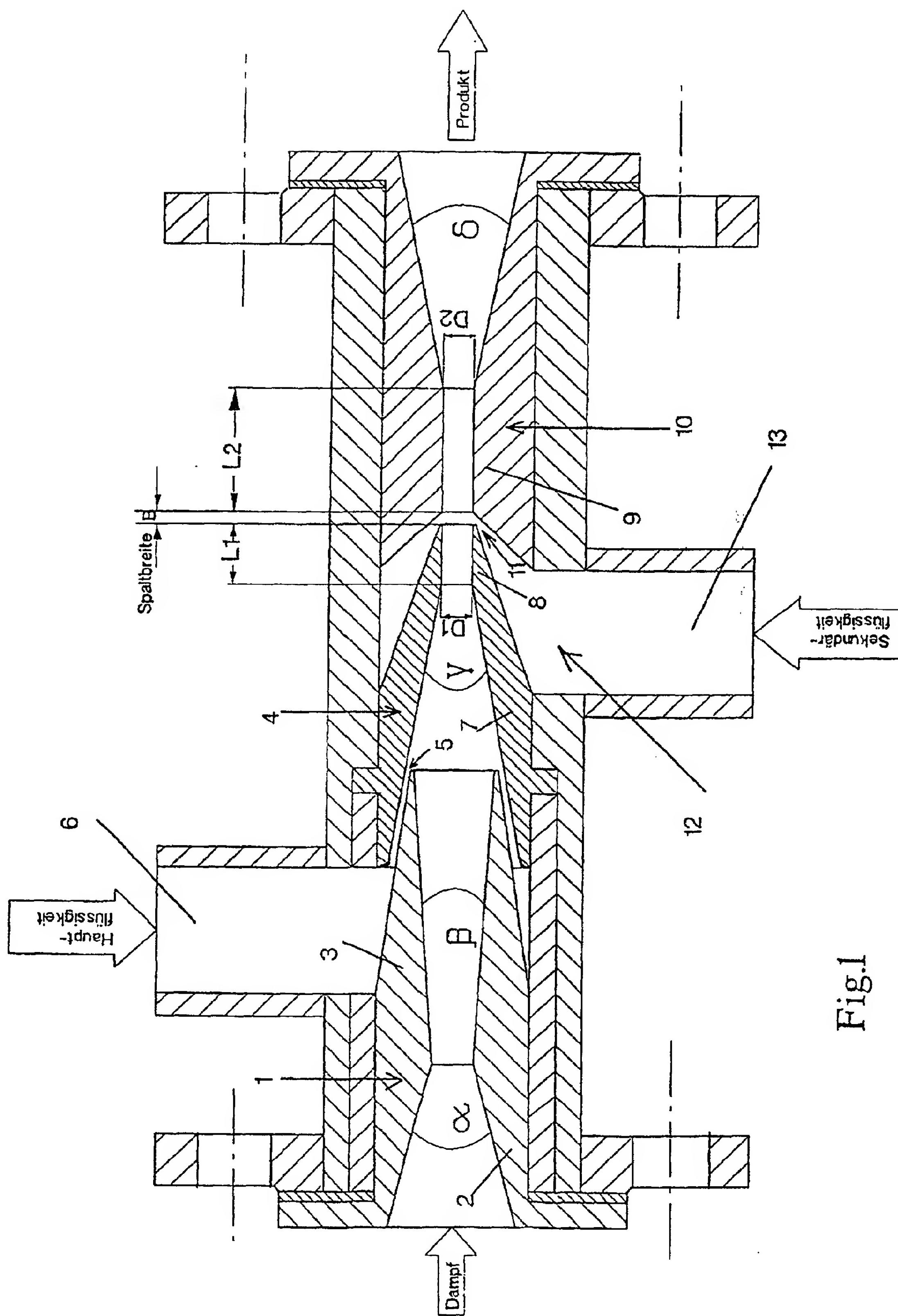


Fig.1

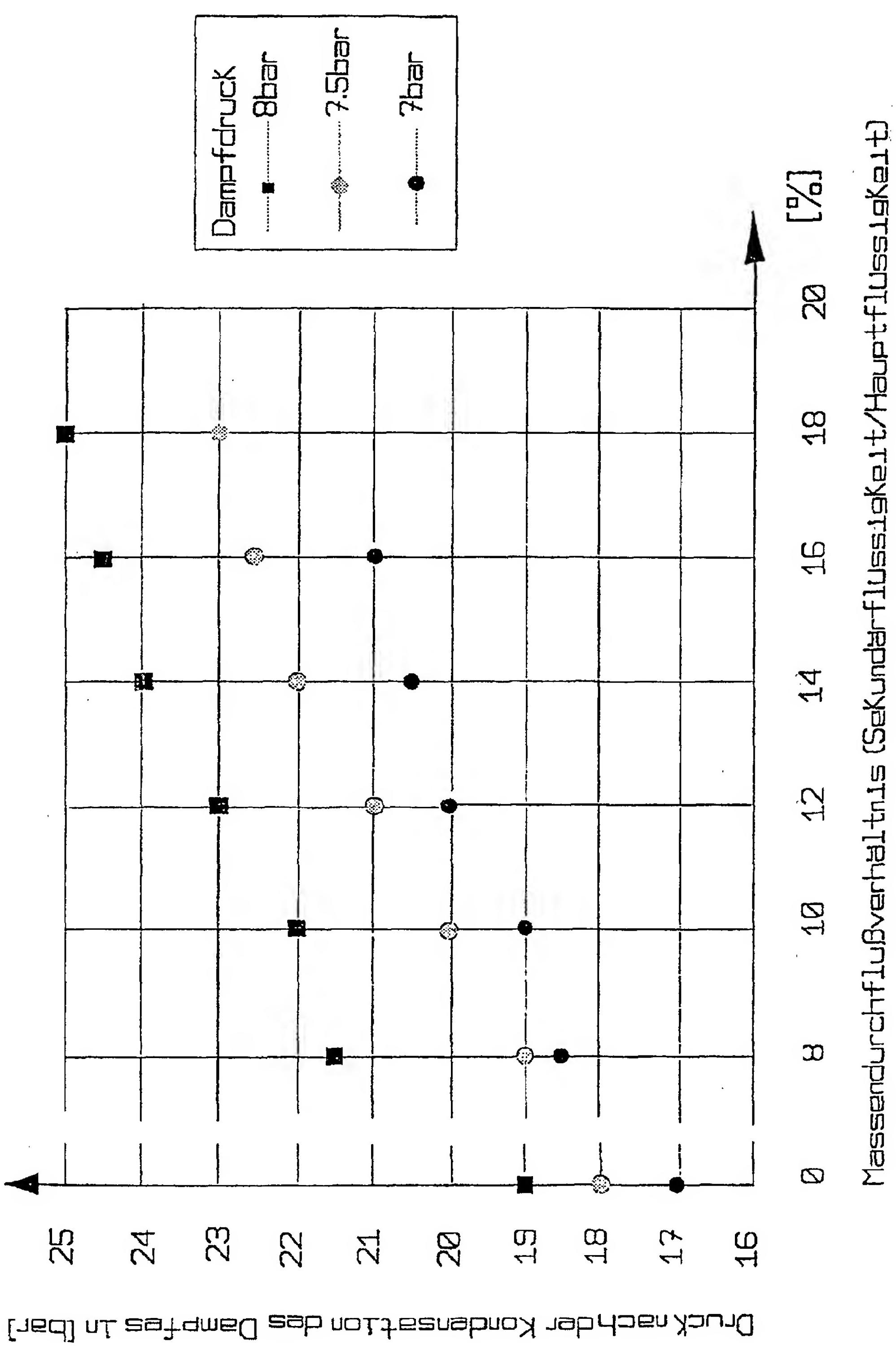


Fig. 2: Drucksteigerung infolge der Sekundärflussrate